TÉCNICA

REVISTA TÉCNICA DE CERÂMICA E VIDRO

2021 // #9 | maio/junho | Bimestral

€6,00

MANUFATURA ADITIVA DE PEÇAS CERÂMICAS

CTCV

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO

SUMÁRIO

03 Editorial

04 Investigação e Desenvolvimento

04 Fabricação aditiva de peças cerâmicas por FDM: teste da tecnologia PAM

10 Fabrico de componentes cerâmicos densos por robocasting

16 Tecnologia Cerâmica

16 GRAVITEC • COLORONDA S.L. abre um novo campo na colocação cerâmica • PRÉMIO ALFA DE ORO 2021

20 Vidrados para Louça Sanitária Vitreous-China

26 Diagnóstico e Otimização de Processos (Fornos Industriais)

28 Análise de Bentonite

30 Sustentabilidade

30 Cluster Habitat Sustentável – a sustentabilidade como mote para a competitividade na transição verde

34 PORCELANAS DA COSTA VERDE – Um exemplo de sucesso no aproveitamento da energia solar fotovoltaica

38 Melhoria e Desempenho Organizacional

Kaizen Diário – Uma metodologia com impacto no planeamento e produtividade

42 Eventos

Eventos realizados

FICHA TÉCNICA

2021 // #9 | maio/junho | Bimestral

Propriedade, Edição e Redação
CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
Rua Coronel Veiga Simão, 3025-307 Coimbra
(T) 239499200 (E) comunicacao@ctcv.pt (W) www.ctcv.pt
NIF: 501632174

Diretor
António Baio Dias

Diretor Adjunto
Sofia David

Subdiretor
Sandra Carvalho

Editor
Jorge Marques dos Santos

Colaborações
Ana Moura, Ana Sofia Amaral, Didier Fonta, Helder J.C. Oliveira, Hélio Jorge, J. Baltazar, J. Dias-de-Oliveira, João A. Labrincha, J. Pinho-da-Cruz2, Marta Ferreira, Pedro Cardoso, P.M.C. Torres, Rui Neves, Sandra Carvalho, S. Gouveia, Samuel Lameiro, S. Olhero, Victor Ferreira

Design e Arte Final
José Luís Fernandes

Impressão
Gráfica Almondina - Progresso e Vida; Empresa Tipográfica e Jornalística, Lda
Rua da Gráfica Almondina, Zona Industrial de Torres Novas, Apartado 29,
2350-909 Torres Novas
(T) 249830130 (E) geral@grafica-almondina.com (W) www.grafica-almondina.com

Tiragem
250 exemplares

Publicação Periódica inscrita na ERC (Entidade para a Comunicação Social) com o nº 127420
Estatuto Editorial disponível em https://www.ctcv.pt/estatuto-editorial.pdf

É proibida a reprodução total ou parcial de textos sem citar a fonte. Os artigos assinados veiculam as posições dos seus autores.

Manufatura aditiva de peças cerâmicas por FDM: teste da tecnologia PAM

Ana Moura[1], Didier Fonta[2] e Hélio Jorge[1]
[1] Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Coimbra,
[2] Pollen AM - França

Introdução

A manufatura aditiva (do inglês Additive Manufacturing - AM) é uma metodologia de produção de peças que consiste na adição de material camada a camada, por intermédio de um equipamento específico, formando uma forma geométrica precisa [1]. Como é utilizada uma impressora 3D, este processo é comummente designado por impressão 3D [2].

As principais vantagens da manufatura aditiva relativamente às técnicas convencionais, passam pela possibilidade de produção de peças de geometria complexa com uma elevada precisão, sem necessidade de utilizar ferramentas, flexibilidade em termos de design e diminuição de consumo de matéria-prima. Tem também a vantagem de produção de pequenos lotes de peças, com custos relativamente baixos [1, 3].

Existem várias tecnologias de AM no mercado e as principais diferenças residem na forma como cada camada é construída e no modo como se ligam as camadas entre si. Estes dois parâmetros são importantes, pois vão determinar a precisão de acabamento do produto final, bem como as suas propriedades mecânicas [2].

Ao contrário do que acontece com os materiais poliméricos e com os metais, a fabricação aditiva de materiais cerâmicos encontra-se ainda a dar os primeiros passos. O processamento de materiais cerâmicos utilizando a manufatura aditiva ainda apresenta grandes limitações a nível de tecnologia devido aos elevados pontos de fusão destes materiais, à necessidade de realização de um tratamento térmico posterior para se obterem as propriedades estruturais desejadas (sinterização), à natureza frágil dos materiais cerâmicos e devido ao facto de terem baixa ductilidade (quando comparados com metais ou plásticos).

No entanto, há um interesse crescente neste tipo de tecnologia para produção de materiais cerâmicos, não só cerâmicos tradicionais, como também cerâmicos técnicos devido ao facto de serem materiais que apresentam dureza, resistência à abrasão e resistência mecânica elevadas, bem como elevada resistência à oxidação e corrosão, quando comparados com os metais, e podem ser bons isolantes quer térmicos, quer elétricos.

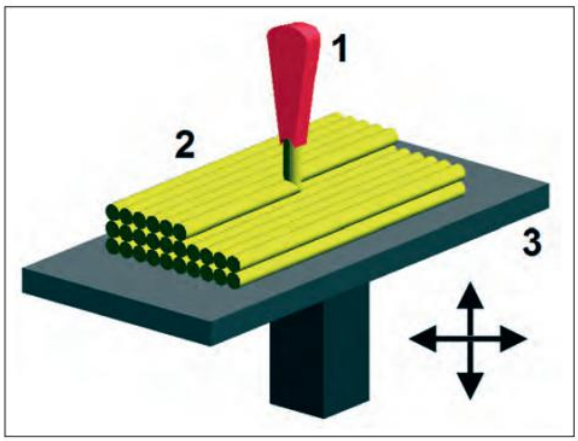

Figura 1 - Esquema explicativo do processo de manufatura aditiva por FDM. (Zureks/Wikimedia Commons)

Neste artigo apresenta-se um teste do processo de impressão 3D de cerâmicos por extrusão termoplástica, também designada por FDM (do inglês Fused Deposition Modelling) recorrendo a um equipamento inovador, disponibilizado recentemente no mercado pela empresa Pollen AM. Este estudo resulta da parceria desta empresa com a Unidade Inovação e Desenvolvimento do CTCV, cumprindo o seu papel de investigação e demonstração tecnológicas.

Manufatura aditiva de cerâmica por FDM

Na tecnologia de manufatura aditiva por FDM, um objeto é construído pela deposição de um cordão de material fundido produzido por um sistema de extrusão, através da formação de camadas (Figura 1).

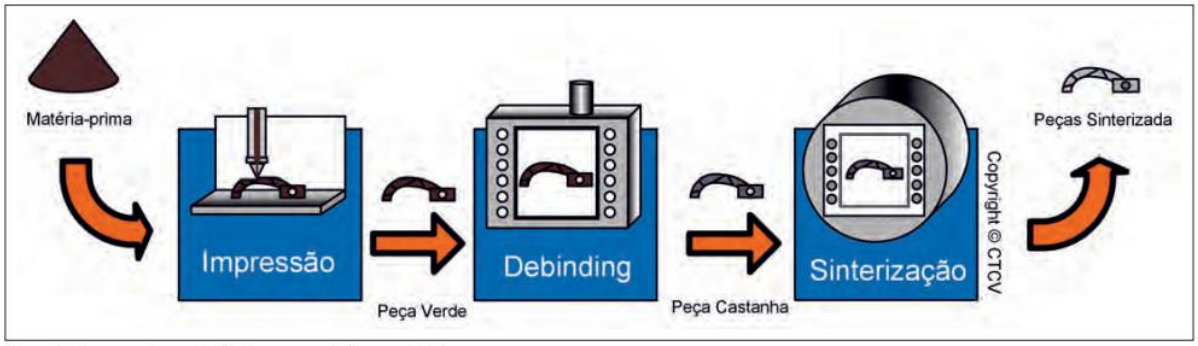

Figura 2 - Processo de produção de peças cerâmicas por FDM.

É uma das tecnologias mais difundidas para impressão 3D de plástico, que pode ser usada também para materiais cerâmicos.

Antes do processo de produção, procede-se à obtenção de um modelo em CAD 3D através de software, que deve ser exportado para um formato próprio – o mais comum é o formato STL. Na fase de preparação, a partir do modelo 3D, a construção do objeto é configurada usando um software de formação de camadas (slicing) que inclui todos os parâmetros de impressão.

O software divide o modelo em camadas bidimensionais (fatias) e configura, por exemplo, a seleção do material a processar, o diâmetro da fieira da cabeça de extrusão, a qualidade de impressão e os comandos dos movimentos.

Em seguida, o processo de produção integra três fases: impressão, debinding e sinterização (Figura 2). A matéria-prima consiste numa mistura de material cerâmico micronizado e um termoplástico.

O material cerâmico trata-se do material de que se pretende obter o objeto. O termoplástico é um material temporário, que confere à mistura fluidez mediante aquecimento durante o processo de impressão e é removido do objeto no processo de debinding.

Na última etapa, o objeto é sinterizado quando sujeito a alta temperatura, processo comum na indústria cerâmica.

Tecnologia PAM

A tecnologia PAM (abreviatura de Pellet Additive Manufacturing) foi desenvolvida pela Pollen AM, uma empresa francesa que desenvolve, fabrica e comercializa impressoras 3D multi-material industriais (exemplo na Figura 3). A principal característica dessas impressoras 3D reside no facto de utilizarem materiais universais em forma de granulado, aqueles usados atualmente pela indústria.

Este formato de material aplicado à impressão 3D dá acesso à maior biblioteca de matérias-primas disponíveis no mercado – termoplásticos standard, de performance, elastómeros, mas também metais e cerâmicas técnicas. Essa especificidade torna as impressoras Pam 3D particularmente adequadas para aplicações exigentes que devem atender aos padrões da indústria.

Figura 3 - Impressora 3D Pam Série MC da Pollen AM.

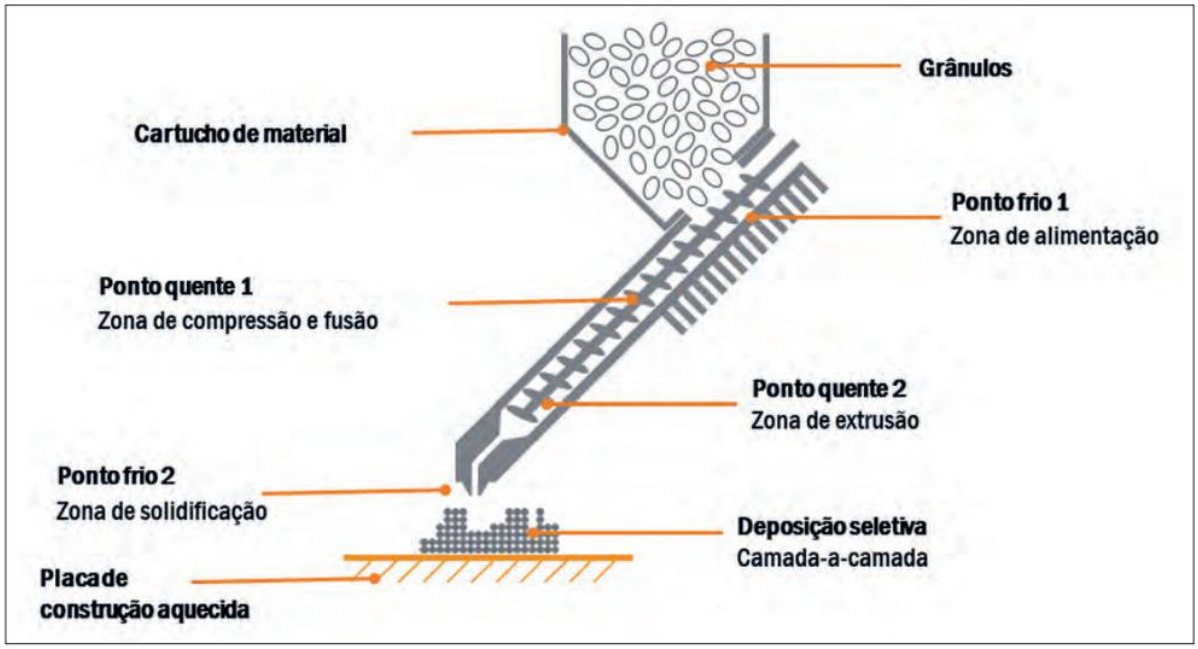

Figura 4 - Sistema de fusão e deposição por extrusão da impressora 3D Pam.

A tecnologia PAM torna possível transformar materiais certificados, como os de contacto com a pele ou com alimentos, de queima controlada para o setor dos transportes e da construção ou para blindagem eletromagnética, etc., a um custo imbatível (o granulado é 10 a 100 vezes mais barato que materiais específicos para impressão 3D).

O software da impressora Pam 3D também é aberto e permite que os seus utilizadores preparem a impressão usando um conjunto de parâmetros específicos relacionados com a natureza do material a ser processado, as peças a serem produzidas e a configuração dos sistemas PAM - como, por exemplo, diâmetro do bico, altura das camadas, velocidades de impressão, temperaturas do processo.

As impressoras Pam 3D são equipadas com 2 a 4 extrusoras autónomas e independentes. Uma extrusora é composta por uma tremonha (ou cartucho de material que contém granulado), uma camisa com um fuso sem fim, um bico de extrusão, elementos de aquecimento e sensores de temperatura (Figura 4).

Com o movimento de rotação do fuso, os grânulos descem para a extrusora onde são fundidos e comprimidos. Antes de ser depositado na placa de construção, o material passa pelo bico de extrusão e é extrudido por uma fieira de diâmetro específico permitindo definir o tamanho do cordão que constituirá as camadas da peça impressa.

Os movimentos do bico de extrusão relativamente à placa de construção são automaticamente determinados pelo sistema, permitindo que a peça seja criada em 3D.

Teste do processo de produção

Para avaliação da tecnologia PAM, foi executado um procedimento de produção de duas peças que se apresentam na Figura 5.

A válvula tem detalhes geométricos relacionados com o seu acoplamento mecânico e com a sua funcionalidade, e apresenta dimensões exteriores de Ø38 x 8 mm. O inserto apresenta uma geometria de engrenagem e uma rosca interna, e tem dimensões exteriores de Ø30 x 20 mm.

Os detalhes geométricos presentes nas peças representam um desafio para testar a tecnologia.

Foi usada como matéria-prima um granulado peletizado para Moldação por Injeção de Cerâmica (CIM, do inglês Ceramic Injection Moulding), com a referência Inmafeed K1008 da Inmatec GmbH [4]; tratando-se de alumina com uma pureza de 96%. Foi usada a impressora Pam Series MC da Pollen AM, com as condições de impressão

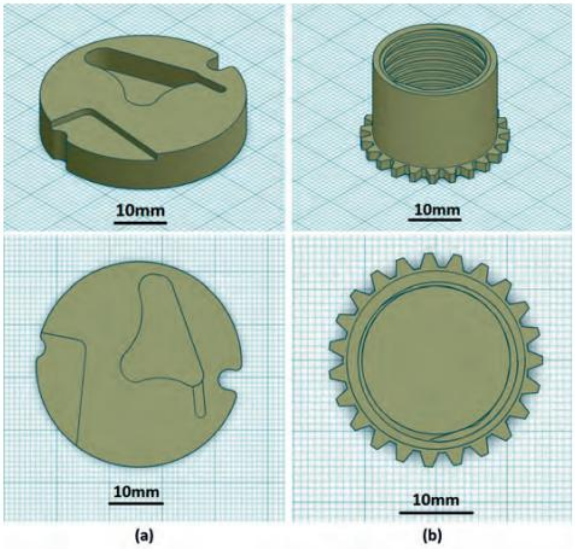

Figura 5 - Modelos 3D das peças produzidas – (a) válvula e (b) inserto dentado.

Tabela 1 – Parâmetros de impressão.

Temperaturas	
Zona de alimentação	43 °C
Zona de compressão e fusão	130 °C
Zona de extrusão	188 °C
Placa de construção	75 °C
Altura de camada	**0,15 mm**
Velocidade de impressão	**20 mm/s**

que estão apresentadas na Tabela 1, respeitantes ao módulo de extrusão. O diâmetro da fieira de extrusão foi 0,4 mm. A plataforma de construção foi aquecida a 75 °C, em cima da qual foi colocado um adesivo para impressão 3D para garantir uma boa adesão da primeira camada de construção.

A Figura 6 mostra as peças obtidas no processo de impressão, onde se pode observar uma boa reprodução de forma e dos detalhes geométricos de ambas as peças. A qualidade de superfície observada, que se reflete pela evidência das camadas de construção (nas faces laterais) e dos cordões depositados (nas faces superiores) é uma característica do processo.

Esta rugosidade do processo pode ser ajustada com variação dos parâmetros de produção, por exemplo, o diâmetro da fieira de extrusão e a altura da camada. Por outro lado, os ajustes destes parâmetros têm impacto na velocidade de impressão. Uma maior qualidade de impressão (resolução) é obtida à custa do tempo de impressão.

Estas peças em verde foram sujeitas ao processo de debinding para a remoção do termoplástico. No caso da matéria-prima usada, este processo subdivide-se em duas etapas: a primeira etapa consiste num debinding aquoso – as peças são mergulhadas num banho de água com agitação e temperatura controladas; na segunda etapa – – debinding térmico – as peças são colocadas numa estufa, seguindo um ciclo de aquecimento pré-definido (Figura 7).

Na primeira etapa, remove-se parte do ligante termoplástico criando uma rede de canais de porosidade aberta, que facilita a degradação térmica do restante termoplástico na segunda etapa. Com este processo bi-etapa pretende-se obter peças isentas de defeitos (ex.: empenos, fissuras, bolhas, etc.), principalmente em peças de parede espessa.

Finalizado o processo de debinding, obtêm-se as "peças castanhas". Estimou-se que a perda de plástico após o debinding aquoso durante 24 horas foi de 48% do plástico presente na peça, enquanto nas válvulas foi de 25%. Esta diferença explica-se pela maior espessura de parede da segunda peça, de 8 mm, comparando com a primeira, de 2 mm.

Figura 6 - Peças impressas (peças em verde).

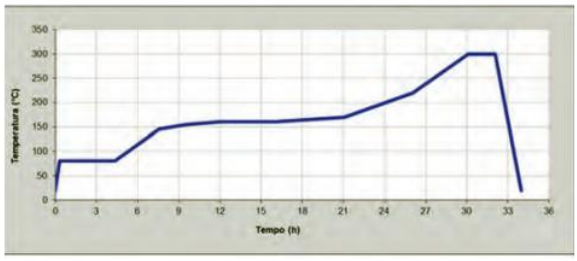

Figura 7 - Ciclo de debinding térmico.

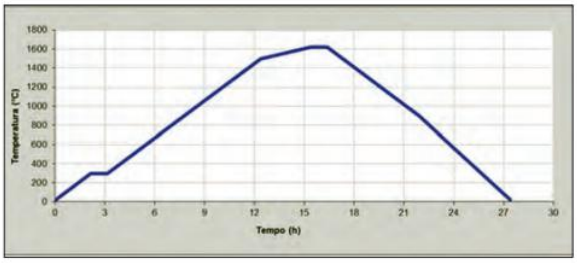

Figura 9 - Ciclo de sinterização.

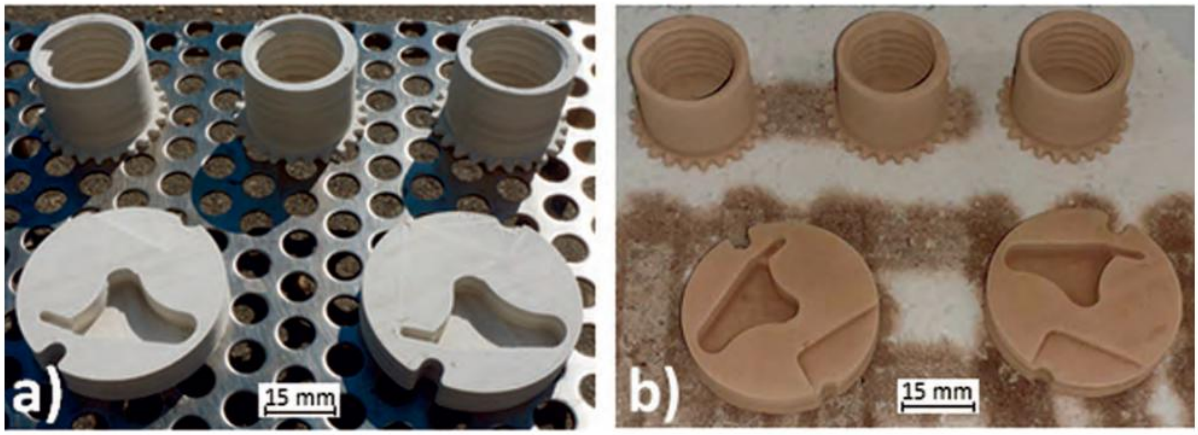

Figura 8 - Peças após as duas etapas de debinding: (a) 1ª etapa por debinding aquoso; (b) 2ª etapa por debinding térmico.

As peças resultantes mantiveram os seus detalhes geométricos sem observação de defeitos, como se observa na Figura 8.

Em seguida, as peças foram sinterizadas à temperatura de 1620 °C durante 1 hora, usando o ciclo térmico apresentado na Figura 9.

As peças obtidas apresentaram uma boa retenção de forma, sem deformações, e sem defeitos estruturais (Figura 10). Foi realizada uma avaliação das características das peças baseada na retração das peças e da densidade, e comparadas com as especificações do fornecedor da matéria-prima (Tabela 2). Para o cálculo da retração das peças, foram medidas as dimensões em verde e em sinterizado.

Verifica-se que, de um modo geral, as peças obtidas atingiram as especificações do fornecedor de matéria-prima, quer na retração como na densidade aparente.

Observa-se um valor ligeiramente inferior da densidade bulk, o que normalmente indica a presença de porosidade aberta de cerca de 4%. No entanto, crê-se que poderá existir um efeito da rugosidade resultante das camadas e dos filamentos de impressão, hipótese que deve ser estudada.

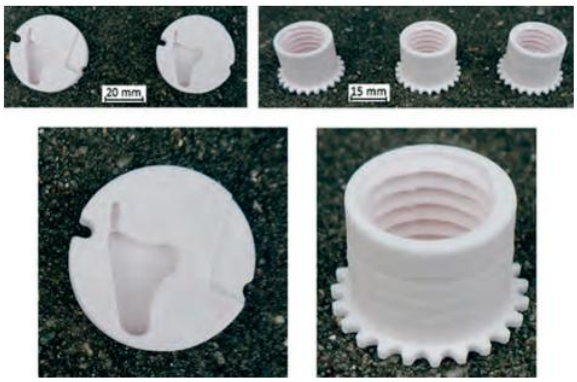

Figura 10 - Peças sinterizadas.

Tabela 2 – Caracterização das peças após sinterização.

	Retração linear geral (%)	Densidade aparente (g/cm³)*	Densidade bulk (g/cm³)*
Válvula	14,8	3,80	3,68
Inserto dentado	15,7	3,80	3,63
Fornecedor de matéria-prima [4]	15,5	~3,8	-

* Norma ISO 18754

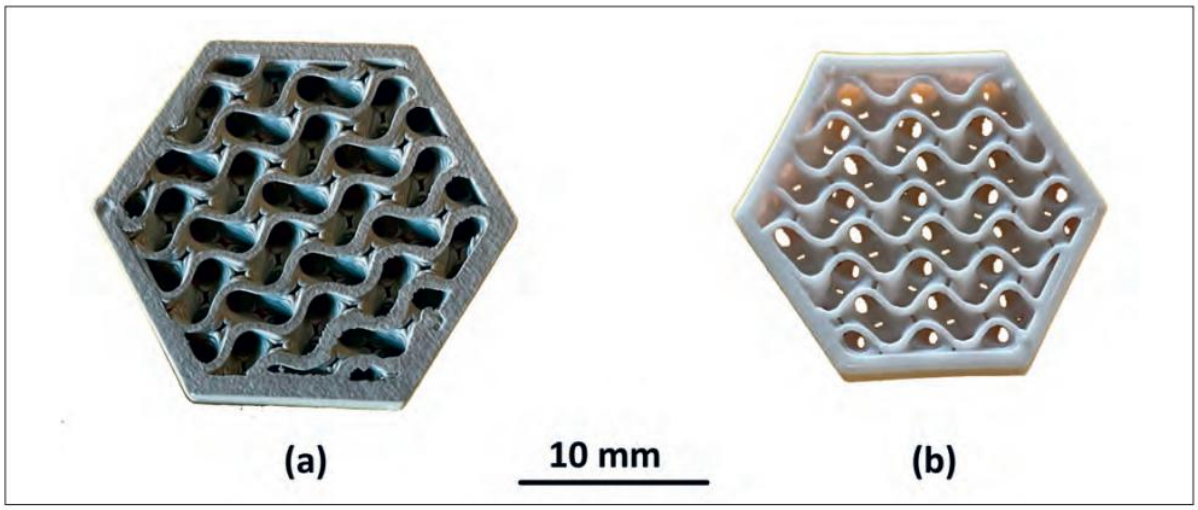

Figura 11 - Peças cerâmicas com geometria giroide – (a) peça em verde, (b) peça sinterizada.

Conclusão

A tecnologia PAM, para a fabricação aditiva de peças cerâmicas, foi testada em duas peças técnicas em alumina. O processo utilizou uma matéria-prima e algumas etapas de processo comuns a uma tecnologia de produção já existente. Assim, já existe uma cadeia de produção que facilita a adoção desta nova tecnologia de conformação.

No teste realizado obtiveram-se peças com boa reprodutibilidade de forma, sem defeitos estruturais e com um grau de densificação conforme o esperado. Assim, considera-se uma tecnologia com potencial para ser aplicada no segmento da cerâmica técnica.

Como tecnologia de manufatura aditiva, é indicada para produção de peças em pequenas séries, com geometrias funcionais e complexas, e de pequena dimensão. Podem ser, ainda, reproduzidas formas que, a partir de outras tecnologias, não se conseguem obter, como o exemplo apresentado na Figura 11.

Bibliografia

[1] Ngo, T.; Kashania, A.; Imbalzano, G.; Nguyen, K.; Hui, D., *Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges*. Composites Part B, 143, 172–196, 2018.

[2] Gibson, I.; Rosen, D.; Stucker, B.; Khorasani, M., *Additive Manufacturing Technologies*, Third Edition, Springer, 2021.

[3] Lakhdar, Y.; Tuck, C.; Binner, J.; Terry, A.; Goodridge, R., *Additive manufacturing of advanced ceramic materials*. Progress in Materials Science 116, 1–50, 2021.

[4] http://www.inmatec-gmbh.com/cms/images/download/2020/INMAFEED%20K1008%20Tec hn.%20Datasheet.pdf

Aluminium oxid
PIM-Like 3D printer
with the right material
Pam (pellet additive manufacturing) 3D printer is open to materials in pellet shape, that is to say at its fair price and widely available. It gives you access to already existing industrial quality PIM feedstocks (metal & ceramic).
Scan me to learn more
www.pollen.am
contact@pollen.am
pollen
your chemistry inside